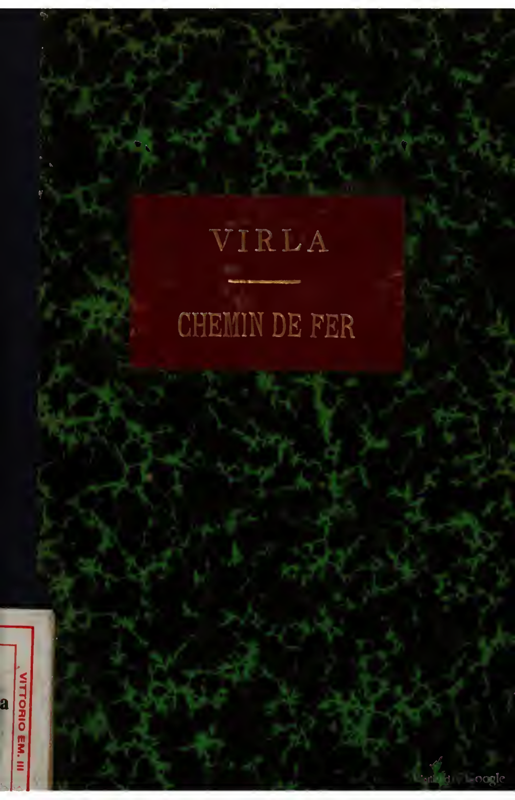


VITTORIO EM. III

BIBLIOTECA PROVINCIALE
mis. A-23-16 h
Armadio J.

Palchetto III.
Num.o d' ordine 38.


NAZIONALE
BIBLIOTECA
B. Prov.
Miscellanea
A
23
164
VITTORIO EM. III
NAPOLI

32

CHEMIN DE FER

DU

PORT DE CHERBOURG,

CONSTRUIT POUR LE TRANSPORT DES PIERRES
DE LA MONTAGNE DU ROULE,
DEPUIS LES CARRIÈRES JUSQU'AU BASSIN DU COMMERCE.







PARIS. — IMPRIMERIE ET FONDERIE DE FAIN, RUE RACINE, N°. 4.
PLACE DE L'ODÉON.

SBN 64-8252

CHEMIN DE FER

DU

PORT DE CHERBOURG,

CONSTRUIT POUR LE TRANSPORT DES PIERRES
DE LA MONTAGNE DU ROULE,
DEPUIS LES CARRIÈRES JUSQU'AU BASSIN DU COMMERCE;

PAR M. VIRLA,
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

(Extrait des Annales des Ponts et Chaussées.)



A PARIS,
CHEZ CARILIAN-GOEURY,
LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
QUAI DES AUGUSTINS, N°. 41.

1835.

Digitized by Google



Digitized by Google

CHEMIN DE FER

DU

PORT DE CHERBOURG,

CONSTRUIT POUR LE TRANSPORT DES PIERRES
DE LA MONTAGNE DU ROULE,
DEPUIS LES CARRIÈRES JUSQU'AU BASSIN DU COMMERCE.

1re. partie, Notice descriptive. — 2e. partie, Frottemens, Expériences.

1°. NOTICE DESCRIPTIVE.

Ancien mode de transport. — Les blocs extraits des carrières de la montagne du Roule, et destinés à former les enrochemens nord de la digue de Cherbourg, ont été transportés, jusqu'à la fin de 1833, au moyen de grands camions à deux roues, qui, basculant autour de leur essieu, formaient une plate-forme inclinée sur laquelle on chargeait les blocs à l'aide d'un treuil ou vireveau. Ces masses, dont le poids surpasse souvent 4,000 kilogrammes, étaient ensuite déposées sur les divers points d'embarquement, d'où les bâtimens de transport les enlevaient au moyen de fortes caliornes frappées à leur mât.

Décision relative à l'établissement du chemin de fer. — Le volume des blocs nécessaires à l'achèvement de la digue devant s'élever à près de 200,000 mètres cubes, et les frais de transport et d'embarquement entrant pour une fraction considérable dans la valeur de ces matériaux, on a pensé que l'établissement d'un chemin de fer provisoire contribuerait, malgré toutes les difficultés locales, à diminuer ces mains-d'œuvre. La construction de ce chemin a été ordonnée par M. le ministre de la marine le 21 août 1830.

Nécessité d'un système de transport mixte. — Les

carrières du Roule, actuellement en exploitation, se développent au nord de la montagne, sur une étendue d'environ 500m.00. Le chemin qui passe au pied de ces carrières présente, jusqu'à sa jonction avec la route royale, une pente moyenne de 0m.08 par mètre. Mais, à partir de cette route jusqu'au bassin du Commerce, la différence de niveau devient presque nulle. La nature du terrain et le sol de la route royale, qu'il fallait ménager, n'ont pas permis de raccorder ces deux pentes pour rendre celle du chemin de fer uniforme sur tout son développement. Le projet à étudier présentait donc deux parties distinctes : l'une relative à la rampe qui suit le pied des carrières *a''a'a*, Pl. XCV, *fig.* 1, l'autre à la portion qui s'étend depuis l'extrémité inférieure de cette rampe jusqu'au bassin du Commerce.

Il eût été impossible d'appliquer avec avantage à cette première partie les moyens ordinaires de franchir une grande différence de niveau. En effet, indépendamment de la construction d'un plan incliné, en ligne courbe, avec un appareil de retenue dans le haut, une chaîne sans fin, des rouleaux, des plaques tournantes et des embranchemens pour arriver à chaque carrière, il eût fallu prendre encore des précautions coûteuses et peut-être inutiles pour garantir ces installations de la chute des pierres, et quelquefois des blocs lancés par l'explosion des mines.

Avantages et inconvéniens du mode adopté. — Le danger des accidens qu'on vient de signaler a fait renoncer à l'idée d'employer sur cette rampe aucune construction fixe. On a pensé qu'il serait plus avantageux de faire usage de deux espèces de chariots, les uns pour le service des carrières jusqu'au pied de la montagne, et les autres pour le transport sur le chemin de fer proprement dit. Quelques dispositions particulières ont suffi pour atténuer en grande partie les inconvéniens que cette combinaison présente. On a facilité le mouvement des premiers

chariots sur la rampe, en diminuant le diamètre de leurs roues, jusqu'à ce que le frottement fût assez considérable pour empêcher toute accélération de vitesse; de cette manière, on est dispensé d'enrayer, et l'on profite de la portion de l'inclinaison seulement qui tend à diminuer les efforts de traction. La deuxième main-d'œuvre de charge, pour passer les blocs des premiers chariots sur les seconds, dépense également la plus petite quantité d'action possible; car le niveau des rails, à l'origine du chemin de fer, se trouve placé en dessous de celui du pied de la rampe à une hauteur telle, que le passage des blocs d'un chariot sur l'autre, s'effectue au moyen des grues, par un simple mouvement horizontal, et sans que le fardeau soit élevé à une hauteur sensible.

Ce double mode de transport, défavorable dans des circonstances ordinaires, a donc été employé comme le seul que les difficultés locales permissent d'appliquer avec avantage.

Ainsi, on s'est borné, quant à la première partie, à dresser le chemin des carrières suivant une rampe uniforme de o^{m}.08 par mètre, qui vient aboutir à un encuvement dans lequel on a placé l'origine du chemin de fer.

Tracé du chemin de fer. — Ce chemin de fer, qui devait se terminer parallèlement au quai de l'est du bassin du Commerce, ne pouvait avoir pour axe une seule ligne droite. Afin d'éviter les courbes trop brusques, on a tracé tout son développement, à l'exception de la petite portion qui se prolonge sur le quai, suivant un arc de cercle de 350^{m}.oo de rayon moyen. Sa pente, qui est de o.^{m}oo3 par mètre, avait été calculée *à priori*, de manière que les efforts à faire fussent les mêmes pour descendre les chariots chargés et remonter les chariots vides. Mais on a reconnu, par expérience, qu'on était parti de données trop faibles, et que cette pente devrait être augmentée.

Le chemin est à double voie sur tout son développe-

ment. La largeur de chaque voie est de 1m.50, mesurés en dehors des rails. Celle de l'intervalle qui les sépare est également de 1m.50, et celle des accottemens de 1m.25; le chemin a par conséquent une largeur totale de 7m.00. Sa longueur est de 615m.00.

Aux extrémités du chemin, les deux voies se réunissent en une seule, par une courbe de raccordement composée de deux arcs de cercle opposés; de sorte que les chariots vides ou chargés peuvent facilement passer d'une voie sur l'autre, au moyen de barres mobiles qui se déplacent à volonté.

Détails de construction. — Puisque la durée de ce chemin n'est que temporaire, sa construction ne devait être que provisoire. Les rails consistent donc simplement dans des barres de fer forgé de 0m.05 de largeur sur 0m.03 d'épaisseur, clouées bout à bout sur des longrines en bois de chêne de 0m.20 de hauteur sur 0m.15 de largeur. De deux en deux mètres, ces longrines sont fixées sur des traverses enfoncées dans le terrain, et par un taquet placé sur chaque face, pour empêcher leur déversement. Enfin, dans la largeur qui forme chaque voie, l'intervalle entre les longrines a été comblé par un empierrement ou chaussée en cailloutis. On n'a dépensé de cette manière, en frais de première construction, que la moitié environ de ce qu'eût coûté un système ordinaire de rails en fer forgé reposant sur des dés en maçonnerie, Pl. XCV, *fig.* 2 et 3.

Intersection avec la route royale. — Le chemin traverse deux fois la route royale aux points I et I'. La *fig.* 4 indique les précautions qu'on a prises, en ces points, pour le passage des voitures. On remarquera des rigoles qui sont sujettes à se remplir de boue; mais, sur un chemin d'aussi peu d'étendue, l'emploi d'un seul homme suffit pour maintenir constamment propre tout le développement des rails

Charge et transport des blocs depuis les carrières jusqu'au chemin de fer. — Il reste à parler maintenant des machines et mains-d'œuvre nécessaires à la charge, au transport et à l'embarquement des blocs.

Les petits camions, figurés Pl. XCVI, *fig.* 1, 2, 4, devaient être chargés d'abord au moyen de chèvres doubles mobiles et à engrenage; mais l'essai de ces chèvres n'a point réussi. Elles étaient trop lourdes et trop difficiles à déplacer; elles n'avaient pas non plus assez de stabilité pour aller prendre les blocs en dehors de leur patin, et la nécessité de les contreventer par des haubans devenait un embarras continuel. On leur a substitué de simples vireveaux situés sur l'avant des petits camions, et qui suffisent pour ce travail. Le peu de diamètre des roues et la pente du sol qui monte vers les carrières, donnent en effet à ces petits camions une position presque horizontale lorsqu'on les fait basculer pour y charger les blocs; ce qui rend cette main-d'œuvre beaucoup plus prompte et plus facile qu'avec les anciens camions dont les roues étaient fort grandes.

Deux ou trois chevaux, attelés à ces petits chariots, selon la charge et la distance à parcourir, conduisent jusqu'au pied de la rampe des poids de 4,000 à 4,500 kil.; ce qui est presque trois fois l'effet qu'on obtient sur les routes ordinaires. Ces mêmes chariots vides sont assez légers pour être ensuite remontés par les chevaux jusqu'au lieu du chargement. Si, par quelque circonstance tenant à l'état du chemin, la vitesse tendait à s'accélérer en descendant, il suffirait de reporter en arrière une partie de la charge, pour faire traîner l'extrémité du chariot qui touche presque à la terre, et produire un frein d'une énergie suffisante.

Charge sur les chariots du chemin de fer, au moyen de grues. — Arrivés à l'origine du chemin de fer, ces petits camions viennent se ranger le long d'un mur de

soutènement au pied duquel sont les grands chariots, et au moyen de deux grues manœuvrées chacune par trois hommes au plus, les blocs passent horizontalement des premiers sur les derniers, Pl. XCVI, *fig.* 1, 2 et 3. On s'est arrangé de manière que le fardeau ne soit jamais à élever; mais s'il doit descendre, on l'abandonne librement à l'action de son propre poids; et l'effort d'un simple bras de levier, venant peser sur la roue à chevilles, suffit pour maîtriser ou arrêter le mouvement à volonté. On remarquera que l'axe de la roue à chevilles de chaque grue porte un pignon communiquant à une roue dentée concentrique avec le treuil. Cette disposition a pour objet d'augmenter l'énergie de la puissance, aux dépens de la vitesse dont on n'a pas besoin, puisque la hauteur à laquelle il faut élever les fardeaux est presque nulle. De cette manière, le temps perdu pendant le chaînage ou l'arrimage des blocs sur les chariots, porte sur le plus petit nombre d'hommes possible. Enfin, pour empêcher que le poids des pierres les plus considérables ne fatigue l'arbre, on a pratiqué, sur la partie inférieure de la volée de chaque grue, une espèce de tablier qui porte un lest volant en gueuses, au moyen duquel on peut équilibrer une partie du poids qui pèse à l'autre extrémité de la volée.

Détails de construction de ces chariots. — Les *fig.* 5, 6 et 7 de la Pl. XCV représentent les plans, élévations et coupes des chariots du chemin de fer. Les roues sont en fer fondu, et pèsent moyennement 125 kilogrammes: elles font corps avec les essieux, qui tournent dans des coussinets en cuivre maintenus par des paliers en fonte de fer *pp'*, *fig.* 8. On remarquera que ces paliers sont entaillés dans des blochets en bois qui élèvent les gîtes du chariot au-dessus de la circonférence de la roue, afin de la préserver du choc des blocs pendant qu'on les charge ou qu'on les embarque. Les gîtes sur lesquels repose presque toujours toute la charge sont garnis de bandes de

fer, ainsi que les traverses en bois qui les réunissent; mais les bandes de ces dernières se terminent par deux boulons, et ont surtout pour objet de former tirans pour empêcher l'écartement des gîtes.

Inégalité dans les diamètres des roues. — Les roues des chariots ne sont pas d'égal diamètre. On a proportionné leur grandeur à celui de l'arc de cercle qu'elles devaient respectivement parcourir, ce qui donne une différence d'environ 0m.0025 entre les rayons des roues tournées vers la convexité du chemin, et ceux des roues qui regardent la concavité. On a jugé cette précaution indispensable pour empêcher le frottement qui se produit toujours lorsque les roues font corps avec les essieux, par la différence entre la vitesse angulaire des points de contact de ces roues sur le chemin, et la vitesse de translation du chariot. Par la même raison, les essieux ne sont pas parallèles entre eux : la direction prolongée de chacun est telle, qu'elle viendrait passer par le centre commun des arcs de cercle qui composent les ornières.

Les rebords des roues ont été placés en dehors de la voie, et l'inspection de la *fig.* 7, Pl. XCV, fait voir que cette disposition semblait la meilleure pour maintenir propre l'espèce de feuillure dans laquelle passent ces rebords : cependant c'est une faute, parce qu'il y a des circonstances où le contact latéral des flancs des rails contre les roues peut produire une pression assez considérable, dont le moment tend à écarter la circonférence de la roue, et par conséquent à faire fléchir l'essieu dans le même sens que l'effort de la charge. Ce moment produirait un effet contraire, s'il agissait de dehors en dedans, et contribuerait, dans ce cas, à soulager l'essieu au lieu de le fatiguer.

Embarquement des blocs. — Lorsque les chariots sont arrivés au point d'embarquement, ils s'arrêtent sous un échafaudage en charpente, faisant saillie sur le bassin et

Digitized by Google

portant un treuil à engrenage, qui soulève les blocs et les conduit au-dessus de l'écoutille du bateau qui doit les recevoir. Les détails de l'échafaudage et du treuil sont représentés sur la Pl. XCVII.

Détails de construction de l'échafaudage. — Le système de cet échafaudage est formé d'un plancher horizontal, soutenu par trois fermes en charpente, à la hauteur de 5 mètres au-dessus du niveau du quai. Ce plancher porte deux chemins de fer légèrement inclinés vers le bassin pour la translation des treuils à engrenage, et deux coursives longitudinales destinées à laisser passer les garans de ces treuils. Chaque ferme se compose d'une grande poutre armée de sa sous-poutre, et supportée par trois montans verticaux dans la partie qui forme culée, et par deux contre-fiches et des moises verticales dans la saillie de la volée. Le premier des pôteaux montans repose sur le quai, et reçoit le pied des contre-fiches, dont la pression est reportée en partie sur le parement en granit au moyen de grandes moises inclinées. Les deux autres descendent dans le sol à une profondeur de $1^m,50$, et se terminent par un patin moisé avec eux, et dont la charge fait contre-poids aux blocs lorsqu'ils sont suspendus au treuil vers l'extrémité de la volée. La nécessité de conserver deux coursives longitudinales n'a permis de contreventer ces fermes qu'aux deux extrémités, par des traverses qui les réunissent; mais on a placé des jambes de force latérales pour arc-bouter la culée, et un chapeau sur les poteaux extrêmes prolongés, afin de maintenir leur écartement. Dans cet état, cet échafaudage éprouve encore, pendant le travail, des vibrations fortes, mais qui n'inspirent cependant aucune crainte pour sa solidité. On voit sur la *fig.* 1 que la culée a été couverte et fermée pour abriter les treuils et les cordages, surtout pendant la mauvaise saison.

Treuils à engrenage placés sur l'échafaudage. — Les

treuils placés sur cet échafaudage, pour l'embarquement des blocs, se composent chacun d'un châssis en fonte *bb&*, porté par quatre roues, et sur lequel repose tout le système d'engrenages. Une extrémité du cordage est fixée sur ce châssis en K, et l'autre s'enroule autour du treuil en bois TT. Le mouvement est imprimé à ce treuil par une première roue d'engrenage D'D', qui communique à un premier pignon *p'p'*. L'axe de ce pignon, qui peut désengréner à volonté au moyen d'un embrayage *ee'*, porte à son autre extrémité une deuxième roue dentée, recevant le mouvement d'un deuxième pignon placé sur l'arbre des manivelles. Deux hommes suffisent, avec cette machine, pour l'embarquement des plus gros blocs. Il ne s'agit encore ici que de soulager la pierre, de la conduire horizontalement au-dessus de l'écoutille et de la laisser descendre dans le bateau. Cette dernière opération se fait en abandonnant librement le bloc à l'action de son poids, et modérant ou arrêtant sa vitesse au moyen d'un frein *fll'* manœuvré par un troisième homme. Pour enrouler ensuite le cordage sur le treuil, sans passer par l'intermédiaire de tous les engrenages, on fait désengrener le pignon *p'p'*, et au moyen d'une petite manivelle, on imprime directement le mouvement au treuil TT. La *fig.* 3 de la Pl. XCVII représente un bloc enlevé par le treuil et sur le point d'être embarqué. Le bateau qu'on n'a point indiqué se trouve représenté en coupe dans la *fig.* 1.

Économie résultant de la construction du chemin de fer. — Le prix de fourniture, transport et embarquement d'un mètre cube de blocs était, avant l'établissement du chemin de fer, de 10 fr. 70 c. Voici maintenant le sous-détail du nouveau prix payé à l'entrepreneur, non compris les frais d'entretien du chemin et des machines, qui sont restés à la charge de la marine.

Détail pour un mètre cube de blocs.

Extraction, y compris frais de poudre et entretien d'outils.	fr. 1.467	fr. 3.029
Charge des camions au pied des carrières	0.563	
Transport sur les petits camions jusqu'au chemin de fer.	0.584	
Charge sur les chariots du chemin de fer.	0.195	
Transport sur le chemin de fer.	0.097	
Embarquement.	0.123	
Frais de dépiétement des carrières, transport d'écalins, bénéfice de l'ancien marché, etc.	1.971	
Prix du mètre cube ou 2,600 kilogrammes.	fr. 5.000	

Transport des moellons par le chemin de fer. — Les carrières du Roule fournissent aussi du moellon, qui doit être également transporté par le chemin de fer. On a représenté sur la *fig.* 1 de la Pl. XCVII les caisses à fond mobile employées à cet effet. Ces caisses seront chargées, comme les blocs, sur les petits camions; elles porteront chacune un mètre cube massif, ou 2,600 kilogrammes. Arrivées au-dessus de l'écoutille du bateau, et à très-petite distance du pont, les côtés seront saisis par quatre retenues en cordes $rr'r''r'''$, et l'on voit, par le mode de suspension de la caisse, qu'en continuant à dévirer le fond s'inclinera de manière à verser dans le bateau tout le moellon qu'elle contient. On sera maître de modérer à volonté la vitesse de cette chute, et la violence du choc sur le fond du bateau dans le commencement du chargement.

Explication de la planche XLV.

Fig. 1. Plan général du chemin de fer, avec son point d'arrivée le long du bassin du Commerce, la rampe d'exploitation des carrières, etc.

a, origine du chemin de fer et emplacement des deux grues destinées à charger sur les grands chariots les blocs transportés, par les petits camions le long de la rampe *a*, *a'*, *a''*.

b, *b'* échafaudage pour l'embarquement des blocs et des moellons.

II', points d'intersection du chemin de fer avec la route royale de Paris à Cherbourg.

Fig. 2 et 3, détails de construction des rails du chemin de fer.

RR&, rails en fer forgé posant sur les longrines.

l, *l*&', longrines, en bois de chêne.

TT', traverses enfouies dans le sol et sur lesquelles reposent les longrines.

t, *t*&, taquets servant à maintenir l'écartement des longrines sur les traversines.

ee, empierrement en cailloutis formant chaussée entre les longrines.

Fig. 4. Section transversale du chemin dans ses points d'intersection avec la route royale.

LL&, longrines de 0m.32 de largeur sur 0m.25 de hauteur.

bb, bandes de fer pour préserver les rails du contact des voitures passant sur la route royale.

pp, pavage de la route.

rr, rigoles pour les rebords des roues des chariots qui parcourent le chemin de fer.

Fig. 5. Plan d'un chariot du chemin de fer.

Fig. 6. Élévation et coupe longitudinale du même chariot.

Fig. 7. Élévation latérale et coupe d'une roue du même chariot.

Fig. 8. Plan d'un palier et d'un coussinet des essieux.

Explication de la planche CXVI.

Fig. 1. Coupe longitudinale de l'encuvement placé au pied de la rampe des carrières, à l'origine du chemin de fer.

CC, petit camion servant à descendre les blocs depuis les carrières jusqu'à leur point de chargement sur les grands chariots.

v, petit treuil servant à la charge des blocs.

DD, chariot du chemin de fer.

RR, élévation latérale des rails du chemin de fer, avec leurs longrines et leurs taquets.

GG, deux grues employées au passage des blocs des camions CG sur les chariots D, D.

rr, roue à chevilles, manœuvrée par deux hommes et communiquant son mouvement à un treuil.

p, pignon concentrique sur l'axe de la roue à chevilles.

c, roue d'engrenage, sur l'axe du treuil, communiquant avec le pignon *p*.

t, treuil autour duquel s'enroule le garant de la grue.

l, linguet tombant sur le pignon pour arrêter le mouvement de la grue.

l', levier servant de frein.

v, verrou servant à maintenir le linguet soulevé.

LL, lest volant en fer coulé, susceptible de se déplacer pour contrebalancer une partie du poids suspendu à l'extrémité de la volée.

mm, moises horizontales, dont le contact avec l'arbre vertical est établi par des galets qui rendent extrêmement doux le mouvement de la volée, même chargée.

Fig. 2. Plan de l'encuvement placé à l'origine du chemin de fer, ainsi que des grues, chariots et camions.

Fig. 3. Élévation de la deuxième grue vue par derrière.

Fig. 4. Élévation d'un petit camion *cc* vu par derrière.

Explication de la planche CXVII.

Fig. 1. Élévation longitudinale de l'échafaudage, avec l'indication d'une caisse à moellon versant son chargement dans un bateau de transport ordinaire.

Fig. 2. Plan de l'échafaudage.

Fig. 3. Coupe transversale de l'échafaudage suivant la ligne AB, avec l'indication du treuil enlevant les blocs d'un chariot.

Fig. 4 et 5. Détails de l'assemblage des écharpes en fer *ee'e* avec le premier poteau vertical.

Digitized by Google

Fig. 6. Élévation latérale d'un des treuils à engrenage placés sur l'échafaudage.

Fig. 7. Élévation par le bout de *idem*.

Fig. 8. Plan du treuil.

Fig. 9. Coupe du bâtis en fonte qui supporte les engrenages du treuil.

Détails communs aux fig. 6, 7, 8 et 9.

bb, bâtis en fonte de fer, monté sur quatre roues *rr*, et supportant les engrenages qui font mouvoir le treuil.

mm, manivelles manœuvrées par deux hommes.

p, pignon de la manivelle communiquant son mouvement à la roue dentée DD.

DD, roue dentée communiquant le mouvement au deuxième pignon *p'* qui lui est concentrique.

p', deuxième pignon engrenant avec la deuxième roue D'D' concentrique au treuil TT.

ee', bras de levier pour désengrener et engrener le pignon *p'* qui fait mouvoir le treuil TT.

f, frein pour modérer le mouvement, composé d'une roue en bois garnie de deux rebords en fer.

gg, enveloppe du frein.

ll', levier pour serrer l'enveloppe contre le frein.

nn, linguet et sa roue dentée pour arrêter le mouvement.

Voir *la* 2e. *partie*, FROTTEMENS, *à la page suivante*.

Digitized by Google

2°. FROTTEMENS; EXPÉRIENCES.

Résistances au mouvement des chariots sur un chemin de fer circulaire, avec des roues de diamètres inégaux et des essieux disposés normalement à la courbe des rails.

Les chariots du chemin de fer de Cherbourg ont été soumis à quelques expériences dont les résultats se rapportent au cas particulier où les lignes d'ornières sont des arcs de cercle, et le rayon de chaque roue proportionnel à celui de la courbe qu'elle parcourt. Pour des chemins de fer de peu d'étendue, il peut se rencontrer, comme à Cherbourg, des circonstances qui rendent cette disposition indispensable. Il ne sera donc pas sans intérêt d'entrer dans quelques détails sur les avantages et les inconvéniens qu'elle présente relativement à la valeur numérique des résistances à vaincre dans le mouvement des chariots.

Dans le cas particulier dont il s'agit, ces résistances sont de deux sortes, et on les examinera successivement.

Frottemens des essieux sur leurs coussinets. — La première, qui consiste dans le frottement autour des essieux, a été déterminée par des expériences directes, dont les résultats diffèrent de ceux que l'on trouve dans le mémoire de Coulomb, pour des axes en fer tournant dans des boîtes en cuivre. Cependant le mode qu'on a suivi dans ces expériences est rigoureux, et l'accord des épreuves ne permet pas de supposer de grandes erreurs d'observation. Ce mode est fondé sur le principe évident que, lorsqu'une roue tourne librement sur son axe, le frottement de cet axe est une force retardatrice qui agit pour annuler sa vitesse angulaire, comme la pesanteur agit pour détruire la vitesse ascensionnelle d'un corps lancé verticalement de bas en haut. On a donc observé, à partir d'un instant déterminé, le nombre de tours faits par chaque

Digitized by Google

roue, et le temps qu'elle a mis à revenir au repos. En substituant ces quantités dans l'équation du mouvement de rotation, on en a déduit, pour chaque épreuve, la valeur de la force retardatrice qui représente la résistance. De cette manière, il a été possible de faire varier les vitesses à volonté, et d'opérer toujours sur des quantités assez grandes, pour que les erreurs probables d'observation n'aient pas d'influence sensible sur les résultats des calculs.

Appelant donc :

ω, l'angle décrit par chacun des points du système autour de l'axe de rotation, après le temps t,

g, la pesanteur,

P, le poids total de deux roues et de leur essieu,

D, la densité et V le volume, de sorte qu'on a $P=gDV$,

f, le rapport du frottement à la pression,

ρ, le rayon de l'essieu $= 0^m035$,

$D\int r^2dm$ la somme des momens d'inertie des deux roues et de leur essieu, on aura pour l'expression de la force retardatrice

$$D\int r^2dm.\frac{d^2\omega}{dt^2}=-\frac{P\rho f}{\sqrt{1+f^2}}.$$

L'intégrale de cette équation prise entre les limites $\omega=0$ et $\omega=\Omega$, et dans laquelle on négligera le quarré f^2, deviendra

(1) $$f=\frac{2K\Omega}{P\rho T^2},$$ en posant $D\int r^2dm=K$.

Dans les expériences faites, on a toujours eu moyennement. . . . . $P=$ 325 kilog.

La valeur de D a été déduite de l'expression $P=VgD$, dans laquelle on a fait $V=1$, et pour le fer forgé. . . . . $P=p=$ 7,788

Idem pour le fer fondu. . . . . $P=p=$ 7,200

Le moment d'inertie d'une roue et celui de son essieu ont été calculés avec tout le soin possible, en décomposant chaque masse dans ses diverses parties, et l'on a trouvé, pour les deux roues D $\int r^2 dm$. 4.1834

Pour un essieu. 0.0048

Et pour le moment d'inertie total ou K. . 4.1882

Ces valeurs numériques substituées dans l'expression (1) après y avoir remplacé Ω par $2\pi n$, n étant le nombre de tours de roues, conduisent à

$$f = 4{,}624 \frac{n}{T^2}.$$

On a d'abord mis en expériences les essieux de deux chariots qui avaient servi, pendant toute la campagne de 1834, au transport des blocs, et l'on a choisi, parmi tous ceux qui étaient disponibles, ceux dont les résistances paraissaient avoir entré elles le plus de différence, afin d'obtenir deux limites extrêmes de la valeur du frottement. On a ensuite répété les épreuves sur deux autres essieux, dont l'un se trouvait légèrement faussé, et dont l'autre était tout-à-fait neuf. Tous les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau N°. I.

Malgré l'accord qui existe entre les épreuves successives d'un même essieu, ces résultats, comparés avec ceux qui ont été obtenus par Coulomb, pouvaient inspirer quelque défiance. On a donc recommencé les dernières expériences, en mesurant directement, par un poids suspendu à une corde qui s'enroulait autour de chaque roue, la résistance à vaincre pour rompre l'équilibre. On a toujours trouvé ces résistances très-différentes sur les divers points de la circonférence de chaque essieu. Ainsi, celui qui avait donné lieu aux épreuves 10 et 11, a exigé un poids variable de 2 à 6 kilogrammes, pour prendre un mouvement lent et incertain. L'essieu neuf a commencé à se

mouvoir sous des poids qui ont varié de 3^kil.^.00 à 7^kil.^.50. En regardant toutefois comme exactes les moyennes de ces poids, on retombe sur des valeurs de frottement très-peu différentes de celles du tableau N°. I.

On peut donc conclure des résultats de ce tableau :

Résultats des expériences. — Que le frottement des essieux usés sous l'effort d'une pression continuelle et considérable, est beaucoup moindre que celui des essieux neufs.

Que, dans les expériences de Coulomb, le temps pendant lequel il faisait tourner les axes avant de les éprouver était loin de suffire pour leur donner le degré de poli qu'ils acquièrent avec le temps et sous une charge beaucoup plus grande : que par conséquent les résultats de Coulomb doivent être moyens entre ceux des essieux neufs et des essieux vieux du tableau N°. I.

Qu'enfin toutes les fois qu'un axe tourne sur deux coussinets placés à une certaine distance l'un de l'autre, la moindre courbure dans cet axe augmente beaucoup son frottement; et que, dans le cas où les essieux doivent tourner avec les roues, il convient d'en augmenter un peu la force, afin de prévenir la flexion qui pourrait résulter d'un choc ou d'une surcharge.

Frottement contre les rails. — Le mouvement des chariots sur un chemin de fer présente une seconde espèce de résistance résultant du frottement des rebords des roues contre les flancs des rails. Cette résistance existe et ne saurait être négligée, lors même que ces rails sont droits, parce qu'il est à peu près impossible, dans les circonstances ordinaires de la pratique, que les roues n'aient pas une tendance plus ou moins grande à s'écarter de la direction qu'elles doivent suivre, soit par une petite inégalité dans les diamètres, soit par un défaut de parallélisme dans les essieux, ou enfin quelque variation dans la largeur de la voie. Lorsque le chemin est courbe, cette

Digitized by Google

espèce de résistance est encore produite par une autre cause que les imperfections dont on vient de parler. Les rebords de deux, de quatre roues sont pressés contre les flancs des rails par la force centrifuge d'une part, et de l'autre par l'effort à faire pour vaincre le frottement horizontal de la jante sur l'ornière, qui s'oppose à chaque instant au changement de direction de la vitesse des roues. Dans le cas particulier dont il s'agit ici, la pression de la force centrifuge peut être négligée, ainsi qu'on le verra plus tard. Quant à l'effort nécessaire pour vaincre le frottement horizontal de la jante, on peut démontrer aussi qu'il entre, comme infiniment petit du deuxième ordre, dans l'équation différentielle du mouvement du chariot, et par conséquent il doit en être écarté. En effet, pendant que la roue parcourra dans son mouvement de translation l'axe infiniment petit om, Pl. XCV, *fig.* 9, elle s'écartera de sa direction rectiligne, de la quantité nm. Or, en regardant nmo comme un triangle rectiligne et rectangle en m, on a $nm = \frac{om^2}{os} = \frac{(vdt)^2}{R}$, v étant la vitesse de translation. Si on rapporte cette quantité de mouvement dépensée pendant l'instant dt à la vitesse v, elle viendra $\frac{vdt^2}{R}$, et sera encore infiniment petite relativement à l'espace infiniment petit $om = vdt$. Dans le cas des ornières courbes (*), comme dans celui des ornières droites, c'est donc principalement aux défauts d'exécution qu'il faut attribuer le frottement latéral des roues contre les flancs des rails. Pour concevoir la manière dont l'intensité de ce frottement doit varier, il faut remarquer que, si les points de contact des flancs des rails avec les rebords des roues étaient à la même distance du

(*) En supposant toujours les diamètres des roues proportionnels aux arcs parcourus par chacune d'elles, et la direction de chaque essieu normale à la courbe des rails.

centre de rotation que la circonférence extérieure de la jante, ces points n'auraient aucune vitesse absolue, et que leur frottement serait nul; mais qu'il arrive en général que ces points de contact sont placés au-dessous du niveau de l'ornière, *fig.* 10, et que dans les chemins courbes l'extrémité même du rebord de la roue peut aller rencontrer le flanc de l'ornière qui se présente obliquement à la direction de sa vitesse tangentielle. Si donc r' est le rayon de la circonférence de la jante, r'' la distance des points de contact latéraux à l'axe de rotation, l'excédant de vitesse angulaire de ces points sur la vitesse commune de translation sera $(r''-r')\,2\pi$, et donnera lieu à un frottement dont la quantité de mouvement, rapporté à la vitesse v, sera pendant l'instant dt. $\frac{r''-r'}{r'}dt$. Il faut donc, pour diminuer ce frottement, chercher, dans la pratique, à rendre $r''-r'$ le plus petit possible : par conséquent la courbure extérieure de la section des rails doit être peu prononcée, et le rebord de la roue suffisamment incliné, *fig.* 11.

Tout frottement qui se développe à la circonférence de la roue, soit sur la jante, soit sur le rebord, résulte évidemment d'une vitesse absolue des points de contact des roues sur les ornières, ou d'une différence entre la vitesse angulaire de ces points et la vitesse de translation du système. Dans le cas actuel, les diamètres des roues des chariots étant proportionnels aux rayons correspondans des lignes de rails qu'elles parcourent, les points de contact des jantes avec ces rails ont toujours des vitesses nulles, et ne donnent lieu par conséquent à aucun frottement (*).

(*) Si les diamètres des roues étaient égaux, en appelant θ la différence des rayons des deux arcs de rails, pour chaque unité d'espace parcouru par le chariot, le point de contact d'une des roues parcourrait $\frac{\theta}{R}$ et le frottement de ce point de contact serait $\frac{\theta f'}{R}$, le quart à peu près de celui des essieux, dans le cas que l'on considère.

Soient maintenant :

P, le poids d'un chariot et de sa charge, non compris les essieux et les roues,

p, le poids des quatre roues et des deux essieux,

f, le rapport du frottement à la pression dans le mouvement des axes,

f' le même rapport, dans le cas du fer glissant sur le fer,

i, l'angle d'inclinaison du chemin avec l'horizon,

R, le rayon moyen de la courbure des ornières,

r', celui de la surface extérieure de la jante,

$\frac{dx}{dt} = v$, la vitesse de translation de tout le système,

$\frac{d\omega}{dt}$, celle de rotation de chacun des points matériels des roues et essieux,

m, la masse totale de $P+p$,

g, la pesanteur,

L'expression de la force centrifuge due à la vitesse v sera, comme on sait, $\frac{mv^2}{R}$ et le frottement auquel elle donnera lieu proportionnel à $\frac{mv^2}{R}\left(\frac{r''-r'}{r'}\right)$, ainsi qu'on l'a dit plus haut. On désignera par φ le frottement des rebords des roues sur les flancs des rails pour chaque unité du poids total $(P+p)$, et ce frottement sera indépendant de la vitesse v, puisqu'on a dit que la pression nécessaire pour vaincre la résistance qui s'oppose au changement de direction de la vitesse devait être négligée.

Le frottement de l'essieu sur son coussinet sera $\frac{P\rho f}{r'}$ en le rapportant à la vitesse v.

La composante de $P+p$, parallèle au chemin, et qui favorise le mouvement de translation, est exprimée par $(P+p)$ sin. i.

La valeur de la force retardatrice relative au mouve-

ment de translation est $m\frac{d^2x}{dt^2}$, celle relative au mouvement de rotation des roues $D\int r^2dm\,\frac{d^2\omega}{dt^2}$.

L'équation du mouvement du chariot doit exprimer que les quantités d'action dépensées sont égales aux quantités de mouvement gagnées ou perdues dans un instant quelconque dt ; on aura donc

$$m\frac{d^2x}{dt^2}\,dx+D\int r^2dm.\,\frac{d^2\omega}{dt^2}\,d\omega=$$
$$=-(P+p)\ (\varphi-\text{sin.}\ i)\ vdt-\frac{P\rho f}{r'}\,vdt-\frac{f'mv^2}{R}\,\frac{(r''-r')}{r'}\,vdt.$$

Mais $dx=-r'd\omega$, $\frac{d^2x}{dt^2}=-r'\frac{d^2\omega}{dt^2}$, $dx=vdt$,

et en faisant $\frac{f'(r''-r')}{r'}=\psi$, on aura

$$\left(m+\frac{D\int r^2dm}{r'^2}\right)\frac{d^2x}{dt^2}=-(P+p)\ (\varphi-\text{sin.}\,i)-\frac{P\rho f}{r'}-\frac{mv^2}{R}\psi,$$

posant $m+\frac{D\int r^2dm}{r'^2}=L$ et $\frac{P\rho f}{r'}+(P+p)\,(\varphi-\text{sin.}\,i)=\alpha$,

et intégrant cette équation entre les limites $x=0$, $x=X$, $t=0$, $t=T$, et $v=a$, $v=0$, on obtient les deux valeurs suivantes :

$$X=\frac{LR}{2m\psi}\log.\left\{1+\frac{m\psi}{\alpha R}a^2\right\}\text{ et }T=\frac{L\sqrt{R}}{\sqrt{\alpha m\psi}}\text{arc tang.}\left(a\sqrt{\frac{m\psi}{\alpha R}}\right).$$

Si on élimine entre ces deux équations la valeur de la vitesse initiale a qui n'est pas connue, on arrive à

$$\alpha=\frac{L^2R}{m\psi T^2}\left(\text{arc tang.}\sqrt{e^{\frac{2m\psi X}{LR}}-1}\right)^2.$$

Cette valeur de α dépend encore de la quantité ψ relative au frottement dû à la force centrifuge. Mais on remarquera que, dans les expériences dont il s'agit, l'exposant de e sous le radical est toujours très-petit, et que

par conséquent on peut négliger toutes les puissances de $\frac{2m\psi X}{RL}$ supérieures à la première; ce qui conduit à

$$\alpha=\frac{2LX}{T^2}.$$

Il résulte de là qu'on peut regarder les résistances comme à peu près indépendantes de la force centrifuge, et par conséquent de la vitesse v.

Le tableau N°. II contient les résultats des expériences faites pour déterminer l'intensité de la résistance φ. Le mode qu'on a suivi dans ces expériences est le même que celui qui a conduit à l'évaluation des frottemens des essieux. Les chariots ont été lancés sur le chemin de fer, puis abandonnés à l'action de leur vitesse acquise. A partir d'un point et d'un instant déterminés, on a observé le chemin parcouru par le chariot, et le temps qu'il a employé pour revenir au repos : on a conclu de ces données les valeurs de α, au moyen de l'équation ci-dessus; puis celles de φ, au moyen de

$$\varphi=\frac{\alpha}{P+p}+\sin.i-\frac{P\rho f}{(P+p)r'}=\frac{2LX}{(P+p)T^2}+\sin.\iota-\frac{P\rho s}{(P+p)r'}.$$

On a essayé successivement trois chariots chargés et trois chariots vides sur les rails parfaitement secs. Quelques jours après, les épreuves ont été renouvelées sur les rails mouillés par la pluie, parce que l'expérience avait déjà conduit à penser que cette circonstance diminuait sensiblement la valeur de φ.

On peut déduire des résultats du tableau N°. II, que la résistance due au frottement des essieux est à peine la moitié de la résistance totale à vaincre, soit que la valeur de φ ne tienne effectivement qu'au frottement latéral des rebords des roues sur les flancs des ornières, soit qu'elle tienne à des imperfections de construction plus difficiles à éviter pour le cas dont on s'occupe que pour celui d'un chemin de fer en droite ligne.

Que la valeur de φ est plus grande pour les rails secs que pour les rails mouillés, et que cette différence, qui

est très-sensible avec les chariots chargés, devient presque nulle avec les chariots vides.

La comparaison des mêmes résultats indique aussi que la valeur de φ ne reste pas constante pour toutes les pressions, et qu'elle diminue à mesure que le poids total $P+p$ augmente. Toutefois, les expériences qu'on a faites ne sont ni assez nombreuses ni assez variées pour qu'il soit possible d'en tirer des conséquences certaines sur le changement des résistances latérales par suite des variations de la pression.

Afin de ne laisser aucun doute sur l'exactitude des résultats du tableau N°. II, on a mesuré directement quelques efforts de traction au moyen d'un dynamomètre de Régnier, et les poids obtenus de cette manière ont été comparés à ceux que fournit l'équation du mouvement d'un chariot, quand on suppose que la force accélératrice est nulle, et qu'on y substitue les valeurs numériques du tableau N°. II. Ces épreuves directes n'ont pu être faites que sur des chariots chargés et remontant sur le chemin, parce que les indications du dynamomètre, qu'on avait eu soin de vérifier, ne commençaient à devenir sensibles et comparables qu'au delà de 35 kilogrammes. On a constamment trouvé des efforts très-variables pour un même chariot, et qui oscillaient sans cesse entre des limites dont on a pris la moyenne pour valeur de la résistance. L'on peut voir dans le tableau N°. III, que ces moyennes diffèrent peu des valeurs numériques déduites des tableaux N°s. I et II. Toutefois, on pense que la première méthode d'expériences est bien supérieure à celle des épreuves directes; d'abord parce qu'on opère sur de grandes quantités, qu'il est toujours possible d'observer avec exactitude; parce qu'ensuite l'expression de la résistance peut être considérée comme la moyenne de toutes les valeurs par lesquelles elle a passé pendant la durée entière du mouvement du chariot. On n'a trouvé nulle part l'indication ni l'emploi de cette méthode, qui pourrait cependant s'appliquer dans beaucoup de cas, et particulièrement pour évaluer les résistances et l'inertie de la plupart des machines.

Cherbourg, 4 avril 1835.

Tableaux contenant les résultats des expériences faites sur les mouvemens des chariots du chemin de fer de Cherbourg.

TABLEAU N°. 1.

Frottement des essieux en fer forgé, tournant dans des coussinets en cuivre, avec enduit d'huile d'olive.

Le frottement est donné par la formule $f = 4{,}624 \frac{n}{T^2}$.

DÉSIGNATION DES ESSIEUX.		Numéros des expériences.	Durée du mouvement.	NOMBRE de tours n.	VALEURS de $\frac{n}{T^2}$.	VALEURS de f.	VALEURS moyennes de f.	OBSERVATIONS.
			"					
1°. Chariot ayant servi pendant un an, et dont le mouvement était rude.	1er. essieu.	1	40	29.00	0.0181	0.0837	0.082	Les résultats moyens des huit premières épreuves peuvent être regardés comme les limites supérieures et inférieures du frottement des essieux dans les chariots employés à Cherbourg.
		2	40	27.70	0.0173	0.0800		
	2e. essieu.	3	29	19.60	0.0233	0.1077	0.108	
		4	33	25.25	0.0232	0.1073		
2°. Chariot ayant servi pendant un an, et dont le mouvement était fort doux.	1er. essieu.	5	65	50.20	0.0119	0.0550	0.055	Dans ces épreuves, le temps était compté au moyen d'une montre à secondes, et les fractions de tours se mesuraient sur la circonférence de chaque roue, divisée en dix parties égales par les rayons.
		6	55	36.40	0.0120	0.0555		
	2e. essieu.	7	90	70.20	0.0087	0.0402	0.042	
		8	70	47.00	0.0096	0.0444		
2e. essieu du même chariot avec moins de vitesse.		9	50	22.00	0.0088	0.0407		
3°. Essieu ayant servi, légèrement faussé.		10	15	8.20	0.0364	0.1683	0.167	
		11	17	10.35	0.0358	0.1655		
4°. Essieu neuf, n'ayant pas encore servi.		12	7	2.20	0.0449	0.2076	0.209	
		13	10	4.50	0.0450	0.2081		
		14	11	5.50	0.0454	0.2099		

TABLEAU N°. II.

Frottement des rebords des roues contre les flancs des ornières.

La valeur de ce frottement est donnée par l'équation $\varphi = \frac{2LX}{(P+p)T^2} + \sin . i - \frac{P\rho f}{(P+p)r'}$.

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.		POIDS des roues et des essieux p.	POIDS du chariot et de sa charge P.	DURÉE du mouvement T.	ESPACE parcouru X.	VALEURS DES QUANTITÉS L.	VALEURS DES QUANTITÉS $\frac{2LX}{(P+p)T^2}$	VALEURS DES QUANTITÉS $\frac{P\rho f}{(P+p)r'}$	VALEURS DES QUANTITÉS φ.	OBSERVATIONS.
		kilog.	kilog.	"	mèt.					
Chariots descendans sur les ornières sèches.	1er. chariot chargé.	650	4550	32	42.00	563.51	0.00888	0.00429	0.00759	Pour tous les chariots dont les essieux n'ont pas été essayés, on a pris, pour valeur de f, la moyenne des résultats des huit premières épreuves du tableau n°. 1, c'est-à-dire $f = 0.07$. Pour les 5e. et 6e. chariots vides, qui sont les chariots 1 et 2 du tableau n°. 1, on a pris $f = 0.095$ et $f = 0.05$.
	2e. id. id. . .	650	4550	34	38.00	563.51	0.00713	0.00429	0.00584	
	3e. id. id. . .	650	3550	40	50.00	461.54	0.00687	0.00414	0.00573	
	4e. chariot vide. .	650	550	65	101.00	155.85	0.00621	0.00224	0.00697	
	5e. id. id. . .	650	550	35	45.50	155.85	0.00819	0.00305	0.00814	
	6e. id. id. . .	650	550	74	125.00	155.85	0.00595	0.00160	0.00735	
Chariots descendans sur les ornières mouillées.	1er. chariot chargé.	650	4550	38	45.00	563.51	0.00674	0.00429	0.00545	
	2e. id. id. . .	650	4550	52	70.50	563.51	0.00563	0.00429	0.00434	
	3e. id. id. . .	650	3550	48	58.00	461.64	0.00550	0.00414	0.00436	
	4e. chariot vide. .	650	550	58	82.50	155.85	0.00657	0.00224	0.00733	
	5e. id. id. . .	650	550	42	49.50	155.85	0.00728	0.00305	0.00723	
	6e. id. id. . .	650	550	60	81.00	155.85	0.00585	0.00160	0.00725	

678252

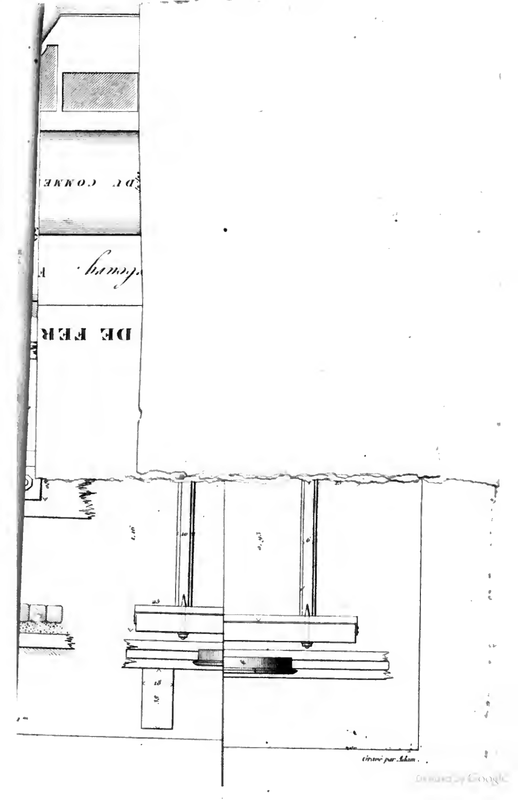
TABLEAU N°. III.

Comparaison entre les efforts de traction mesurés au dynamomètre et ceux que l'on déduit de la formule

$$Q = (P + p)(\varphi \pm \sin. i) + \frac{P \rho f}{r'},$$

en y substituant les valeurs numériques des tableaux I *et* II.

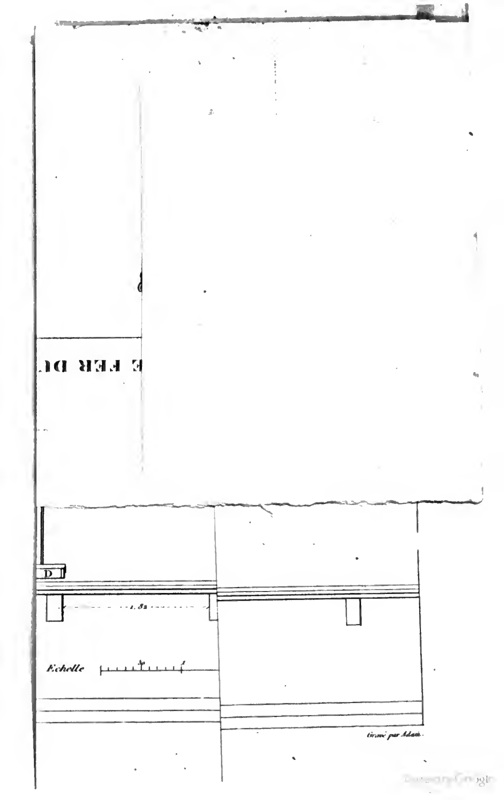
DÉSIGNATION des CHARIOTS SOUMIS A L'EXPÉRIENCE.	POIDS		EFFORT MOYEN pour maintenir le chariot en mouvement.		OBSERVATIONS.
	des roues et des essieux.	du chariot et de sa charge.	mesuré.	calculé.	
Chariot chargé de 4,000 kilogrammes, remontant sur les rails secs.	kilog. 650	kilog. 4,550	kilog. de 53 à 85	kilog. 71.18	On ne doit pas conclure des chiffres de l'avant-dernière colonne, que l'effort moyen soit la moyenne des efforts partiels, parce que ceux-ci ne s'exercent pas tous pendant le même temps. Ces efforts moyens sont mieux exprimés par les chiffres de la dernière colonne.
Idem chargé de 2,000 kilogrammes, remontant sur les rails secs.	650	2,550	de 45 à 50	42.60	
Un chariot chargé de 4,000 kilogrammes, remontant sur les rails mouillés. . . .	650	4,550	de 65 à 75	62.14	
Deux chariots ensemble, chargés de 8,000 kilogrammes, remontant sur les rails secs.	1,300	9,100	de 135 à 155	142.36	



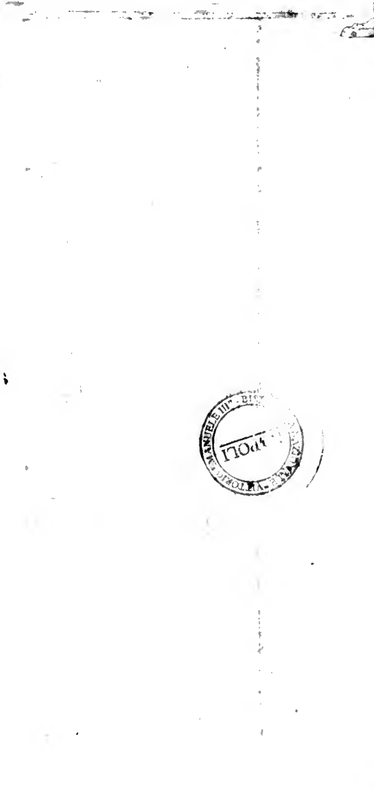
Digitized by Google

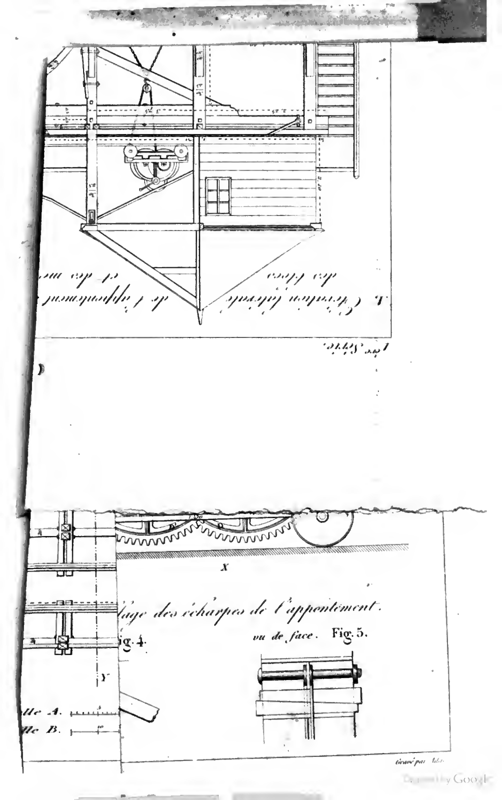


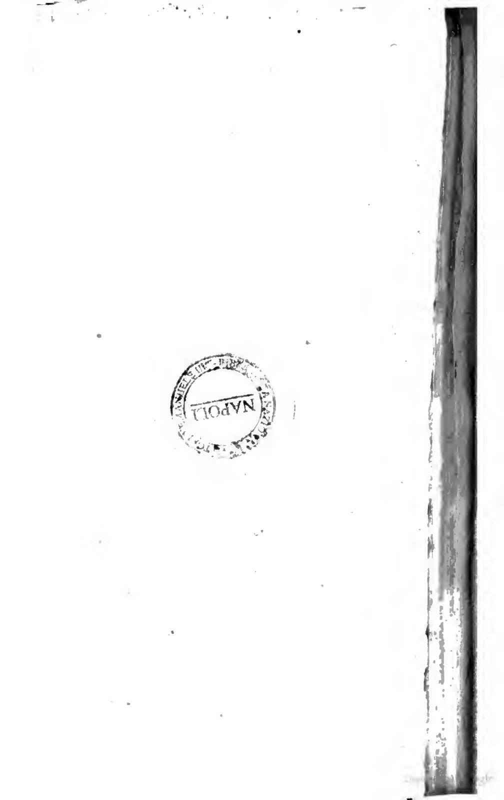
Digitized by Google

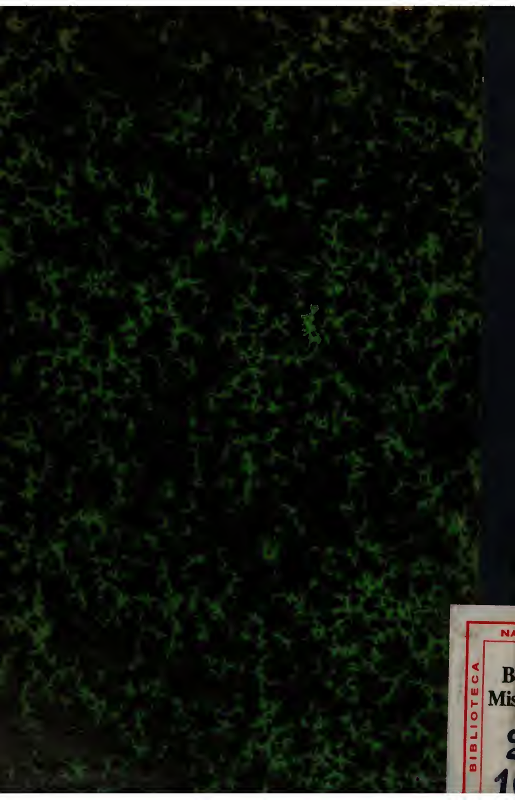


D
1, 82
Echelle
1
Gravé par Adam.




X
lage des écharpes de l'appontement.
ig. 4.
vu de face. Fig. 5.
lle A.
lle B.


NAPOLI


BIBLIOTECA